

S03P1362US00

10722,413

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年12月 5日

出願番号  
Application Number: 特願2002-354261  
[ST. 10/C]: [JP2002-354261]

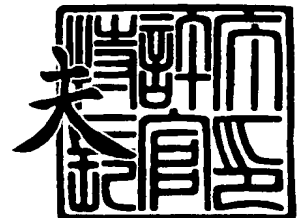
出願人  
Applicant(s): ソニー株式会社



2003年 8月20日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3067874

【書類名】 特許願

【整理番号】 0290712003

【提出日】 平成14年12月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B25J 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 入部 正継

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 鈴木 伸也

【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100093241

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮田 正昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100101801

【弁理士】

【氏名又は名称】 山田 英治

【選任した代理人】

【識別番号】 100086531

【弁理士】

【氏名又は名称】 澤田 俊夫

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 048747

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9904833

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アクチュエータのサーボ制御器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

前記位相補償要素において位相補償を施す周波数帯域を任意に選択する位相補償帯域設定手段を備える、  
を特徴とするアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 2】

任意の位相進み量又は位相遅れ量を与える手段をさらに備える、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 3】

位置決め精度を要求する場面において全体の帯域で位相補償を施す、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 4】

速い動作を要求する場面において高い周波数帯域において位相補償を施す、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 5】

直列補償の比例ゲインの大小を任意に設定する直列補償比例ゲイン設定手段をさらに備える、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 6】

直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

前記位相補償要素において位相補償を施す量を任意に選択する位相補償量設定手段を備える、  
を特徴とするアクチュエータのサーボ制御器。

【請求項 7】

任意の位相進み量又は位相遅れ量を与える手段をさらに備える、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 8】**

直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

直列補償の比例ゲインの大小を任意に設定する直列補償比例ゲイン設定手段を備える、

ことを特徴とするアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 9】**

さらにアクチュエータの粘性抵抗を設定する粘性抵抗設定手段を備える、  
ことを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 10】**

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの首部分の関節に適用され、  
前記直列補償比例ゲインを高く設定し、位相進み量を少なく設定するとともに、  
関節の粘性抵抗を大きく設定する、  
ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 11】**

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの肩及び肘部分の関節に適用され、  
連続動作時において、前記アクチュエータの粘性抵抗を小さく、比例ゲインを低く、位相進み補償を行なう周波数帯域を高く、位相進み量を大きく設定する、  
ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 12】**

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの肩及び肘部分の関節に適用され、  
力を使う動作時において、負荷トルク値に対してさらに力を発生させたいときは比例ゲインを高く、関節の粘性抵抗を大きくし、負荷トルク値に対して定負荷となるように倣わせる動作をする場合には、負荷トルクに応じて比例ゲインを低く、関節の粘性抵抗を小さくして、機械的受動性を得るようにする、  
ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 13】**

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの体幹部分の関節に適用され、

ロボット自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため関節の粘性抵抗を大きくし、位置決め精度を優先させるため比例ゲインを高く設定し、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する、

ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

#### 【請求項 1 4】

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの股関節部分の関節に適用され、

ロボット自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため関節の粘性抵抗を大きくし、位置決め精度を優先させるため比例ゲインを高く設定し、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する、

ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

#### 【請求項 1 5】

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの膝部分の関節に適用され、

遊脚時及び着床瞬間時において、関節の粘性抵抗を小さく、比例ゲインを低く、位相進み補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する、

ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

#### 【請求項 1 6】

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの膝部分の関節に適用され、

支持脚時において、ロボット自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため関節の粘性抵抗を大きくし、位置決め精度を優先させるため比例ゲインを高く設定し、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する、

ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

#### 【請求項 1 7】

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの足首部分の関節に適用され、

遊脚時及び着床瞬間時において、関節粘性を小さく設定し、比例ゲインを低く設定し、位相補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する、

ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【請求項 1 8】**

前記アクチュエータは脚式移動ロボットの足首部分の関節に適用され、  
支持脚時において、関節の粘性抵抗を大きくとり、比例ゲインを高く、位相進み量を少なく設定する、  
ことを特徴とする請求項 9 に記載のアクチュエータのサーボ制御器。

**【発明の詳細な説明】**

**【 0 0 0 1】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、ロボットや汎用組立機器、ロボット・ハンド機器、その他の多軸制御装置などのような多軸駆動系の機械装置に対して関節自由度を実現するために適用されるアクチュエータのサーボ制御器に係り、特に、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を構成するアクチュエータのサーボ制御器に関する。

**【 0 0 0 2】**

さらに詳しくは、本発明は、高ゲイン P D 制御で各軸リンクが制御されるロボットの関節アクチュエータとして適用されるアクチュエータのサーボ制御器に係り、特に、コンプライアンス（機械的受動性）を増減させて安定且つ高効率な動作を実現するアクチュエータのサーボ制御器に関する。

**【 0 0 0 3】**

**【従来の技術】**

電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語の”R O B O T A （奴隷機械）”に由来すると言われている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは 1 9 6 0 年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット（industrial robot）であった。

**【 0 0 0 4】**

アーム式ロボットのように、ある特定の場所に植設して用いるような据置きタ

タイプのロボットは、部品の組立・選別作業など固定的・局所的な作業空間でのみ活動する。これに対し、移動式のロボットは、作業空間は非限定的であり、所定の経路上または無経路上を自在に移動して、所定の若しくは任意の人的作業を代行したり、ヒトやイヌあるいはその他の生命体に置き換わる種々の幅広いサービスを提供したりすることができる。なかでも脚式の移動ロボットは、クローラ式やタイヤ式のロボットに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、階段や梯子の昇降や障害物の乗り越えや、整地・不整地の区別を問わない柔軟な歩行・走行動作を実現できるという点で優れている。

#### 【0 0 0 5】

最近では、イヌやネコのように4足歩行の動物の身体メカニズムやその動作を模したペット型ロボット、あるいは、ヒトのような2足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作をモデルにしてデザインされた「人間形」若しくは「人間型」と呼ばれるロボット (humanoid robot) など、脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。

#### 【0 0 0 6】

この種の脚式移動ロボットは、一般に、多数の関節自由度を備え、関節の動きをアクチュエータ・モータで実現するようになっている。また、各モータの回転位置、回転量などを取り出して、サーボ制御を行なうことにより、所望の動作パターンを再現するとともに、姿勢制御を行なうようになっている。

#### 【0 0 0 7】

ロボットの関節自由度を実現するためにサーボ・モータを用いるのが一般的である。これは、取扱いが容易で、小型且つ高トルクで、しかも応答性に優れているという理由に依拠する。特に、ACサーボ・モータは、ブラシがなく、メンテナンス・フリーであることから、無人化された作業空間で稼動することが望まれるような自動機械、例えば自由歩行を行なう脚式ロボットの関節アクチュエータなどに適用することができる。ACサーボ・モータは、回転子（ロータ）側に永久磁石を、固定子（ステータ）側に複数相（例えば3相）のコイルを配置して、正弦波磁束分布と正弦波電流により回転子に対して回転トルクを発生させるようになっている。



**【0008】**

脚式移動ロボットは一般に多数の関節で構成されている。したがって、関節自由度を構成するアクチュエータを小型且つ高性能に設計・製作しなければならない。例えば、脚式移動ロボットの関節アクチュエータとして適用することができる、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・モータなどが既に存在する（例えば、特許文献1を参照のこと）。

**【0009】**

脚式移動ロボットのような多軸駆動系の機械装置においては、各軸の回転位置を高精度に安定に検出して、位置指令により正確に動作させる必要がある。例えば、人間型ロボットのような2足直立型の脚式移動ロボットにおいては、機体に電源を投入した直後からロボットは自分の姿勢位置を自律的に確認して、安定な姿勢位置に各軸を移動させる必要がある。したがって、各関節の回転自由度を与えるサーボ・アクチュエータにおいては、より高精度で高速の位置決め制御、並びに高トルク出力を低消費電力で行なわなければならない。

**【0010】**

ところで、2足歩行（人間型）を始めとする多軸型のロボットにおいて、運動制御理論から見た関節各部位は高ゲインPD制御で各軸リンクが制御され、それらが一定の特性のまま動作するのが一般的であった。

**【0011】**

しかしながら、人間の動作研究の結果からも分かるように、安定且つ高効率な動作を実現するには局所的に力を増減させることや関節各部位のコンプライアンス（機械的受動性）を増減させることが重要である。

**【0012】**

つまり、位置制御系として関節各軸の動作を捉えたときは高ゲイン且つ高帯域なサーボ制御器を使って、制御偏差が少なくなるように制御した方がよいが、力学モデルとして捉えたときはポテンシャル・エネルギーや運動エネルギーの作用を考慮してゲインを低くしたり位相補償している周波数帯を上下させたりすることも同時に行なうとよい。

**【0013】**

ところが、ロボットの機体上でそのような制御を実現するにはアクチュエータそのものの特性と、アクチュエータの制御器の特性の2つを動的・静的に制御する機能が必要になる。

**【0014】**

例えば、2足歩行の脚式移動ロボットで上体に腕を備えた人体類似の構造を有するものにおいて、歩行路面で摩擦力が低下して安定性が低下したとき、状態を駆動して安定性を確保ないし回復するものがある（例えば、特許文献2を参照のこと）。しかしながら、これはフィード・フォワード・ゲインを制御することによって実現するものであり、関節の粘性や周波数特性に対する言及はなく、また、コンプライアンスの有無といった概念もない。

**【0015】****【特許文献1】**

特開2000-299970号公報

**【特許文献2】**

特開平7-205069号公報

**【0016】****【発明が解決しようとする課題】**

本発明の目的は、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を構成する優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することにある。

**【0017】**

本発明のさらなる目的は、高ゲインPD制御で各軸リンクが制御されるロボットの関節アクチュエータとして適用される、優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することにある。

**【0018】**

本発明のさらなる目的は、コンプライアンス（機械的受動性）を増減させて安定且つ高効率な動作を実現することができる、優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することにある。

**【0019】**

**【課題を解決するための手段及び作用】**

本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第1の側面は、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

前記位相補償要素において位相補償を施す周波数帯域を任意に選択する位相補償帯域設定手段を備える、

を特徴とするアクチュエータのサーボ制御器である。

**【0020】**

本発明の第1の側面に係るアクチュエータのサーボ制御器によれば、位相補償を施す周波数帯域を任意に選択することで、アクチュエータの周波数特性を自在に設定することができる。したがって、このようなアクチュエータで構成されるロボットの関節軸は、機体の姿勢や動作の局面に応じて、周波数特性を動的に調整することができる。

**【0021】**

また、本発明の第1の側面に係るアクチュエータのサーボ制御器によれば、位相補償量を一定として、位相補償する周波数帯域を選択することができる。

**【0022】**

例えば、全体の帯域で位相補償した場合、全体的にゲインが高めとなるので、位相精度がよくなるが、エネルギーロスとなり易い。また、負荷が大きくなると不安定になる可能性がある。

**【0023】**

また、高い周波数帯域で位相補償した場合、高域でのみ位相進み補償をしていることになるので、ゆっくりした動作時にはあまり効果が見られないが、走る、飛ぶ、踊るといった速い動作には効果がある。

**【0024】**

また、直列補償の比例ゲインの大小を任意に設定する直列補償比例ゲイン設定手段をさらに備えてもよい。

**【0025】**

高い周波数帯域で位相補償した場合、高域でのみ位相進み補償をしていること

になるので、ゆっくりした動作時にはあまり効果が見られないが、直列補償比例ゲイン設定手段によって低周波数帯域においてゲインを増やすことにより、低周波数帯域での制御偏差を少なくすることができる。この結果、ゆっくりした動作時でも指令値に対して少ない遅れで応答することが可能となる。

#### 【 0 0 2 6 】

また、本発明の第 2 の側面は、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

前記位相補償要素において位相補償を施す量を任意に選択する位相補償量設定手段を備える、  
を特徴とするアクチュエータのサーボ制御器である。

#### 【 0 0 2 7 】

本発明の第 2 の側面に係るアクチュエータのサーボ制御器によれば、位相補償を施す量を任意に選択することで、アクチュエータの周波数特性を自在に設定することができる。したがって、このようなアクチュエータで構成されるロボットの間節軸は、機体の姿勢や動作の局面に応じて、周波数特性を動的に調整することができる。

#### 【 0 0 2 8 】

また、本発明の第 3 の側面は、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を備えたアクチュエータのサーボ制御器であって、

直列補償の比例ゲインの大小を任意に設定する直列補償比例ゲイン設定手段を備える、

ことを特徴とするアクチュエータのサーボ制御器である。

#### 【 0 0 2 9 】

また、本発明に係るアクチュエータのサーボ制御器は、さらにアクチュエータの粘性抵抗を設定する粘性抵抗設定手段を備えてもよい。

#### 【 0 0 3 0 】

本発明に係るサーボ制御器を実装したアクチュエータを各関節部位に配置して、2 足歩行の脚式移動ロボットを構成することができる。

#### 【 0 0 3 1 】

例えば、首部分に適用されるアクチュエータでは、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。また、胴体より下の部分の動作時に発生する振動外乱に対してロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きく設定する。

#### 【0032】

また、肩及び肘部分の関節に適用されるアクチュエータでは、歩行やダンスなどの連続動作を行なうときは、位置決め特性よりも機械的受動性が高くなるような特性を肩及び又は肘部分の関節アクチュエータに与える。動作に受動性を持たせるため、関節の粘性抵抗を小さくする。また、動作に受動性を持たせるとともに、エネルギー消費量を減らすため、比例ゲインを低く設定する。また、動作速度を大きくするため、位相進み補償を行なう周波数帯域を高く、位相進み量を大きく設定する。動作によっては振り子のように往復運動を行なうだけのときもある。そのときは、関節の粘性抵抗と比例ゲインを最小にして機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにし、力学的なエネルギーを動作のために用い易くする。

#### 【0033】

また、物を押したり引っ張ったりするなどの力を使う動作を行なうときには、負荷トルク値により、位置決め精度優先の特性と、機械的受動性の特性を動的に入れ替えるように、肩及び又は肘部分の関節アクチュエータを制御する。負荷トルク値に対してさらに力を発生させたいときは比例ゲインを高く、関節の粘性抵抗を大きくする。また、負荷トルク値に対して定負荷となるように倣わせる動作をする場合には、上位からの位置指令値による調整に加え、肩及び又は肘部分の関節アクチュエータの内部トルク・センサで検知した負荷トルクに応じて比例ゲインを低く、関節の粘性抵抗を小さくして、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。

#### 【0034】

また、体幹や股関節部位において適用されるアクチュエータの場合、自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、体幹部分の関節アクチュエータの粘性抵抗を大きくする。あるいは、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。あるいは、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

**【0 0 3 5】**

また、股関節部分に適用されるアクチュエータの場合、ロボット自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため関節の粘性抵抗を大きくし、位置決め精度を優先させるため比例ゲインを高く設定し、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

**【0 0 3 6】**

また、膝部分に適用されるアクチュエータの場合、遊脚時及び着床瞬間時においては、位置決め精度よりも機械的受動性が高くなるような特性に制御する。動作に受動性を持たせるため、関節の粘性抵抗を小さくする。また、動作に受動性を持たせるとともにエネルギー消費量を減らすため、比例ゲインを低く設定する。また、動作速度を大きくするため、位相進み補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する。

**【0 0 3 7】**

一方、支持脚時において、ロボット自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため関節の粘性抵抗を大きくし、位置決め精度を優先させるため比例ゲインを高く設定し、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

**【0 0 3 8】**

また、足首部分に適用されるアクチュエータの場合、遊脚時及び着床瞬間時においては、位置決め精度よりも機械的受動性が高くなるような特性に制御する。足首部分着床による衝撃を緩和するため、関節粘性を小さく設定し、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。また、足首部分着床による衝撃を緩和するため、比例ゲインを低く設定し、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。また、動作速度を大きくとるため、位相補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する。

**【0 0 3 9】**

一方、支持脚時において、足首部分の発生トルクを大きくとり、且つ自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きくとる。また、足首部分の位置決め精度を向上させるため、比例ゲインを高く設定する。

また、動作速度を保持しつつ、比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように位相進み量を少なく設定する。

#### 【0 0 4 0】

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施形態や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

#### 【0 0 4 1】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳解する。

#### 【0 0 4 2】

##### A. アクチュエータの動作速度、機械的受動性

本出願人に既に譲渡されている特願 2 0 0 1 - 2 3 3 6 9 1 号明細書には、外界や作業対象に対して、閉リンク状態と開リンク状態の繰り替え動作を高速に行なう脚式移動ロボットについて開示されている。すなわち、1 以上の回転型関節（1 関節当り 2 自由度以上備えていてもよい）で構成される肢を持つロボットにおいて、各肢に動的閉合誤差を除去するに最低限必要な受動自由度（減速機のバックラッシュなど）を配し、さらに各肢の可動範囲を適切に管理する。たとえ、関節部を駆動するアクチュエータがトルク情報を取得する手段を持たない場合であっても、閉リンク状態と開リンク状態の高速切替え動作を安定に実現する。

#### 【0 0 4 3】

これは、2 足歩行ロボットにおいて、腰部基準座標に近い部位にバックラッシュ量が少ないギアードモータを配置、手先・足先に近い部位にバックラッシュ量が多いギアードモータを配置し最適な特性を得るというものである。そして、ロボットを最適化する第 2 の方法として、各関節軸アクチュエータにおける位置サーボ補償器の開ループ・ゲインを任意に調整することで、位置エラー偏差量を制御する。すなわち、バックラッシュ量が均一の場合にはサーボ・ゲインの大小によるサーボ偏差をバックラッシュ量に見立て、それを制御する。

#### 【0 0 4 4】

本発明は、このような脚式移動ロボットの最適化方法をさらに拡張したものであり、要言すれば、サーボ制御器の比例ゲインだけでなく位相補償要素も関節各

部位で調整するものである。

【 0 0 4 5 】

図 1 には、本発明の一実施形態に係るアクチュエータのサーボ制御器の構成を示している。同図に示すように、サーボ制御器は、直列補償の比例ゲイン K と位相補償要素 C ( s ) という 2 つの制御要素を持ち、比例ゲインだけでなく位相補償要素も関節各部位で調整する。

【 0 0 4 6 】

ここで、位相補償要素は以下の式で表される。但し、 n 、 m は任意の自然数であり、また、 a  <sub>i</sub> 、 b  <sub>i</sub> は任意の実数であり、状態変数を表現した場合はフィードバック・ゲインに相当する。

【 0 0 4 7 】

【数 1】

$$C(s) = \frac{\sum_{i=0}^m b_i \cdot s^i}{\sum_{i=0}^n a_i \cdot s^i}$$

【 0 0 4 8 】

また、モータと減速器の伝達関数表現モデル G ( s ) は以下の式で表される。但し、 s はラプラス演算子であり、 K はモータ・ゲインであり、 J はモータの慣性モーメントであり、 D はモータの粘性抵抗係数である。

【 0 0 4 9 】



## 【数 2】

$$C(s) = \frac{\sum_{i=0}^m b_i \cdot s^i}{\sum_{i=0}^n a_i \cdot s^i}$$

## 【0 0 5 0】

また、図 2 には、図 1 に示したモータと減速気の伝達関数表現モデル  $G(s)$  のゲイン及び位相の周波数特性を示している。

## 【0 0 5 1】

まず、図 1 に示したサーボ制御器において、位相補償型制御の設計例として位相補償帯域を任意に選択する例（位相補償量が一定で周波数帯域を任意に選ぶ）について、図 3 を参照しながら説明する。同図において、

## 【0 0 5 2】

- ①  $C(s) - 1 : 1$ ．  $0 \sim 100 \text{ Hz}$  の帯域で約  $+5.6 \text{ dB}$  のゲイン増幅、約  $+18 \text{ deg}$  の位相進みを与えている。
- ②  $C(s) - 2 : 0.1 \sim 10 \text{ Hz}$  の帯域で約  $+5.6 \text{ dB}$  のゲイン増幅、約  $+18 \text{ deg}$  の位相進みを与えている。
- ③  $C(s) - 3 : 10 \sim 1 \text{ kHz}$  の帯域で約  $+5.6 \text{ dB}$  のゲイン増幅、約  $+18 \text{ deg}$  の位相進みを与えている。

## 【0 0 5 3】

このように、位相補償を施す周波数帯域を任意に選択することで、アクチュエータの周波数特性を自在に設定することができる。したがって、このようなアクチュエータで構成されるロボットの関節軸は、機体の姿勢や動作の局面に応じて、周波数特性を動的に調整することができる。

## 【0 0 5 4】

なお、図 3 に示す例では、位相進み補償の例を示したが、位相遅れ補償の場合も同様に任意の周波数帯域で任意の位相遅れ量を設定することができる。

**【 0 0 5 5 】**

次いで、図 1 に示したサーボ制御器において、位相補償型制御の設計例として位相補償を施す量を任意に選択する例（周波数帯域が一定で位相補償量を任意に選ぶ）について、図 4 を参照しながら説明する。同図において、

**【 0 0 5 6 】**

④  $C(s) = 4 : 4$  . 0 ~ 7 0 H z の帯域で約 + 3 . 5 d B のゲイン増幅、約 + 1 2 d e g の位相進みを与えている。

⑤  $C(s) = 5 : 2$  . 0 ~ 7 0 H z の帯域で約 + 5 . 6 d B のゲイン増幅、約 + 1 8 d e g の位相進みを与えている。

⑥  $C(s) = 6 : 1$  . 0 ~ 7 0 H z の帯域で約 + 6 . 5 d B のゲイン増幅、約 + 2 1 d e g の位相進みを与えている。

**【 0 0 5 7 】**

このように、位相補償を施す量を任意に選択することで、アクチュエータの周波数特性を自在に設定することができる。したがって、このようなアクチュエータで構成されるロボットの関節軸は、機体の姿勢や動作の局面に応じて、周波数特性を動的に調整することができる。

**【 0 0 5 8 】**

なお、図 4 に示す例では、位相進み補償の例を示したが、位相遅れ補償の場合も同様に任意の周波数帯域で任意の位相遅れ量を設定することができる。

**【 0 0 5 9 】**

次いで、図 1 に示したサーボ制御器において、K で示した直列補償ゲインの大小を変更する制御器の設計例について、図 5 を参照しながら説明する。同図は、図 3 において、K を ± 3 d B だけ上下させたことに相当する。図示の通り、直列補償ゲインの大小も任意に設定することができる。

**【 0 0 6 0 】**

図 3 ~ 図 5 に示した内容をロボットの関節軸駆動用のアクチュエータに適用するためには、これらの制御器を構成するパラメータを動的又は静的に変更するための通信プロトコルを実装する。これによって、ロボットの各関節軸にさまざまな特性を与えることができる。

## 【0 0 6 1】

次いで、これらの特性を備えたアクチュエータのサーボ制御器を実装したときのアクチュエータの特性について説明する。

## 【0 0 6 2】

図 6 には、図 3 に示したように位相補償量が一定で周波数帯域を任意に選ぶようにアクチュエータのサーボ制御器を実装したときの開ループ特性を示している。

## 【0 0 6 3】

①  $C(s) - 1$  : 1. 0 ~ 1 0 0 H z の帯域で約 + 5. 6 d B のゲイン増幅、約 + 1 8 d e g の位相進みを与える

→ 全体的にゲインが高めとなるので、位置決め精度と追従性がよくなるが、エネルギーロスとなり易い。また、負荷が大きくなると不安定になる可能性がある。

②  $C(s) - 2$  : 0. 1 ~ 1 0 H z の帯域で約 + 5. 6 d B のゲイン増幅、約 + 1 8 d e g の位相進みを与える

→  $C(s) - 1$  と  $C(s) - 2$  の中間的な特性を持つ。

③  $C(s) - 3$  : 1 0 ~ 1 k H z の帯域で約 + 5. 6 d B のゲイン増幅、約 + 1 8 d e g の位相進みを与える

→ 高域でのみ位相進み補償をしていることになるので、ゆっくりした動作時にはあまり効果が見られないが、走る、飛ぶ、踊るといった速い動作には効果がある。

## 【0 0 6 4】

このように、位相補償を施す周波数帯域を任意に選択することで、アクチュエータの周波数特性を自在に設定することができる。したがって、このようなアクチュエータで構成されるロボットの関節軸は、機体の姿勢や動作の局面に応じて、周波数特性を動的に調整することができる。

## 【0 0 6 5】

また、図 7 には、図 6 に示したうち高域でのみ位相進み補償を施した例  $C(s) - 3$  においてさらに直列補償ゲインの制御を採り入れた様子を示している。こ

の場合、図 5 に示した例と同様に、同位相においてゲインが上下する。

#### 【0066】

図 6 に示した例では、位相補償例 C (s) - 3 ではゆっくりした動作時にはあまり効果が見られないが、図 7 に示すように、低周波数帯域においてゲインを増やすことにより、低周波数帯域での制御偏差を少なくすることができる。この結果、ゆっくりした動作時でも指令値に対して少ない遅れで応答することが可能となる。

#### 【0067】

以上、アクチュエータのサーボ制御器においてサーボ制御器の比例ゲインだけでなく位相補償要素も関節各部位で調整するメカニズムについて説明してきた。これによって、安定且つ高効率な動作を実現するには局所的に力を増減させることや関節各部位のコンプライアンス（機械的受動性）を増減させることが可能となる。

#### 【0068】

例えば、位置制御系として関節各軸の動作を捉えたときは高ゲイン且つ高帯域なサーボ制御器を使って、制御偏差が少なくなるように制御した方がよいが、力学モデルとして捉えたときはポテンシャル・エネルギーや運動エネルギーの作用を考慮してゲインを低くしたり位相補償している周波数帯を上下させたりすることも同時に行なうとよい。

#### 【0069】

### B. アクチュエータ・モータの粘性抵抗

上述したようなアクチュエータの動作速度や動作時の機械的受動性という特性に加え、アクチュエータの粘性抵抗を可変に制御するという方式を採り入れることができる。

#### 【0070】

例えば、コイルへの供給電流を制御して所定の磁束分布を形成することにより回転トルクを発生させるタイプのモータは、一般に、コイル端子を電源電圧に接続する第 1 のトランジスタ・スイッチ群と、コイル端子を接地する第 2 のトランジスタ・スイッチ群からなるスイッチング動作回路を PWM 制御により駆動する

ことによって、コイル電流を制御し、所望のトルク又は回転位置、回転速度などを得るようになっている。

#### 【0071】

ここで、モータ・コイルが非通電の期間においてオープン状態となるタイミングにおいて、モータ・コイルに通電された電流（厳密には電荷）が抜けてしまうため、トルクのロスになる。またコギングによるトルクむらの影響を受け易くなる。

#### 【0072】

このような場合、モータ・コイルが非通電の期間においても、コイルがオープン状態とならない短絡（ショート）状態を形成することにより、モータ・コイルに通電された電流（厳密には電荷）が抜けないようにすることができる。このとき、モータのコイルには、永久磁石側からの磁束密度により逆起電力が発生する。この逆起電力により、モータの回転方向の逆方向に力が作用するので、外力による回転に対する粘性抵抗を作り出すことができ、ブレーキに類似した効果を得ることができる。このようなモータへの粘性抵抗により、トルク・ロスがなくコギングによるトルクむらの影響が軽減される。

#### 【0073】

一方、モータの非通電時において、このようなコイルの短絡状態を形成した場合、上述したように、モータに一種の粘性抵抗を与えることができるが、このようなモータをロボットに使用した場合、コイル・ショートによるブレーキの影響のため、コンプライアンス（機械的受動性）がなくなってしまうという問題を招来する。

#### 【0074】

そこで、モータ・コイルの非通電時におけるコイルのオープン状態と短絡状態の期間の比率を、所望の機械的特性に応じて調整することにより、モータ・コイルがオープン状態となるタイミングにおけるモータ・コイルに通電された電流（厳密には電荷）が抜けてしまうことによるトルクのロスやコギングによるトルクむらの問題と、モータ・コイルの非通電時におけるコイル・ショートによるブレーキの影響のためコンプライアンス（機械的受動性）がなくなるという問題を、

ともに解決することができる。

#### 【0075】

ここで、モータ・コイルの通電及び非通電状態の比率はPWM制御により実現することができるが、モータ・コイルの非通電状態におけるコイルのオープン状態と短絡状態の期間の比率もPWM制御を用いて実現することができる。

#### 【0076】

図8には、コイル電流の制御メカニズムを適用したDCモータのコイル電流供給用の電流制御回路の等価回路の構成例を示している。

#### 【0077】

同図に示す電流制御回路は、フルブリッジ構成であり、pnp型のトランジスタA'とnpn型のトランジスタAを順方向接続した回路と、同じくpnp型のトランジスタB'とnpn型のトランジスタBを順方向接続した回路を電源電圧VccとグランドGNDの間に並列接続し、さらにトランジスタA'及びAの中間点とトランジスタB'及びBの中間点を固定子の単相コイルで接続している。

#### 【0078】

トランジスタA'及びBをオンにするとともに、トランジスタA及びB'をオフにすることによって、モータ・コイルには、図示の矢印方向の電流 $I_m$ が流れる。また、トランジスタA'及びBをオフにすることによって、コイルはオープン状態となって、電流 $I_m$ は流れなくなる。また、トランジスタA'及びBをオフにするとともに、トランジスタA及びB'をオンにすることによって、モータ・コイルは短絡（ショート）状態となる。

#### 【0079】

PWM制御論理回路は、図示しない中央制御部からの電流軸電流指令（又はトルク指令）に基づいてコイルへの電流指令を生成し、これら電流指令に基づいて各トランジスタをPWM方式にてスイッチング制御する。すなわち、トランジスタA'及びBをオンにするとともにトランジスタA及びB'をオフにしてコイル電流 $I_m$ を流す通電期間と、トランジスタA'及びBをオフにしてコイルを非通電にする非通電期間を交互に生成する。

#### 【0080】

本実施形態では、さらに P W M 制御論理回路が出力する各トランジスタ A 及び A'、並びに B 及び B' をオン／オフ動作を制御する制御信号を付加論理により切り替える付加論理回路が配設されている。

#### 【 0 0 8 1 】

この付加論理回路は、P W M 制御論理回路から出力される B R A K E \_ P W M 制御信号に基づいて動作し、モータ・コイルの非通電状態におけるコイルのオープン状態と短絡状態の切替動作を行なう。

#### 【 0 0 8 2 】

図 9 には、付加論理回路の具体的な回路構成を示している。

#### 【 0 0 8 3 】

P W M 制御論理回路からのトランジスタ A' 制御用信号とトランジスタ B' 制御用信号の論理積と、トランジスタ A 制御用信号とトランジスタ B 制御用信号の排他的論理和が取られ、さらにこれらの論理演算値の論理積を反転したものが B R A K E \_ P W M 制御信号と論理和される。この論理和の結果を元の各トランジスタ制御用信号との間で論理積を取ったものが、最終的なそれぞれのトランジスタ制御用信号となる。

#### 【 0 0 8 4 】

付加論理回路は、B R A K E \_ P W M 制御信号がハイ・レベルが入力されると、コイル非通電時にコイルを短絡させるようにトランジスタ制御用信号を切り替える。通常のコイル非通電時において、P W M 制御論理回路からは、A' 及び A をロー、B' をハイ、B をローにするトランジスタ制御用信号が出力される。これに対し、付加論理回路は、ハイ・レベルの B R A K E \_ P W M 制御信号が入力されると、ロー状態の A' をハイに、ハイ状態の B' をローにそれぞれ転じて、コイルの短絡状態を形成する。

#### 【 0 0 8 5 】

一方、付加論理回路は、B R A K E \_ P W M 制御信号がロー状態のときには、コイル非通電時において、P W M 制御論理回路からのトランジスタ制御用信号をそのまま出力するので、非通電時におけるコイルはオープン状態となる。

#### 【 0 0 8 6 】

図 1 0 には、ハイ・レベルの B R A K E \_ P W M 制御信号が入力されたときの付加論理回路の各トランジスタ制御用信号の出力特性を、コイル電流波形特性及びトルク出力特性とともに示している。

#### 【 0 0 8 7 】

コイル非通電時にコイルを短絡状態にすると、過渡応答により、コイル電流がゼロに戻るまでの時間が長くなる（前述）。したがって、同図に示すように、コイル通電とコイル短絡というスイッチング動作を繰り返した場合、コイル非通電時にコイル電流がゼロに戻る前に次の通電が開始されることから、コイルの最大電流は、コイル通電及び非通電の動作の度に逐次上昇していく。同様に、コイル電流の実効値は図示の通り徐々に増加していくことになる。

#### 【 0 0 8 8 】

また、モータの出力トルク  $T$  は、コイル電流にモータのトルク定数  $K_t$  を乗じた値となるので ( $T = K_t \cdot I$ )、同図からも判るように、コイル通電及び短絡状態を繰り返したとき、コイル電流の増大に伴って、モータ・トルクの実効値は増大していく。したがって、モータ・コイルが非通電時に短絡状態となることにより、モータ・コイルに通電された電流（厳密には電荷）が抜けてしまうことがなくなり、トルクのロスがなくなる。また、コギングによるトルクむらの影響を受けにくくなる。

#### 【 0 0 8 9 】

モータの非通電時において、このようなコイルの短絡状態を形成した場合、上述したように、モータに一種の粘性抵抗を与えることができる。一方、このようなモータをロボットに使用した場合、コイル・ショートによるブレーキの影響のため、コンプライアンス（機械的受動性）がなくなってしまうという問題を招来する。

#### 【 0 0 9 0 】

そこで、PWM 制御論理回路は、付加論理回路に入力する B R A K E \_ P W M 制御信号を PWM 制御することにより、モータ・コイルの非通電状態におけるコイルのオープン状態と短絡状態の期間の比率を制御する。

#### 【 0 0 9 1 】



モータ・コイルの非通電状態におけるコイルのオープン状態と短絡状態の期間を PWM 制御した場合、そのコイル電流の特性は、コイル非通電時にコイルをオープン状態にしたときのコイル電流の過渡応答特性とコイルを短絡状態にしたときのコイル電流の過渡応答特性の特性がデューティ比に応じて混合されたものとなる。

#### 【 0 0 9 2 】

図 1 1 には、PWM 制御により所定のデューティ比を持つ B R A K E \_ P W M 制御信号が入力されたときの付加論理回路の各トランジスタ制御用信号の出力特性を、コイル電流波形特性及びトルク出力特性とともに示している。

#### 【 0 0 9 3 】

コイル非通電時にコイルを短絡状態にすると、過渡応答により、コイル電流がゼロに戻るまでの時間が長くなるが、コイルをオープン状態にするとその時間は短くなる。コイル非通電時の過渡応答特性は、B R A K E \_ P W M 制御信号のデューティ比に従って、これらの特性が混合されたものとなる。

#### 【 0 0 9 4 】

したがって、同図に示すように、コイル通電とコイル短絡というスイッチング動作を繰り返した場合、コイル非通電時にコイル電流がゼロに戻る前に次の通電が開始される。このときのコイルの最大電流は、コイル通電及び非通電の動作の度に逐次上昇していくが、その上昇傾向はデューティ比すなわち B R A K E \_ P W M 制御信号がハイ・レベルとなる比率にほぼ比例する。同様に、コイル電流の実効値は図示の通り徐々に増加していくことになるが、その上昇傾向はデューティ比すなわち B R A K E \_ P W M 制御信号がハイ・レベルとなる比率にほぼ比例する。

#### 【 0 0 9 5 】

また、モータの出力トルク  $T$  は、コイル電流にモータのトルク定数  $K_t$  を乗じた値となるので ( $T = K_t \cdot I$ )、同図からも判るように、コイル通電及び非通電を繰り返したとき、コイル電流の増大に伴って、モータ・トルクの実効値は増大していく。このときの上昇傾向は B R A K E \_ P W M 制御信号のデューティ比すなわち同制御信号がハイ・レベルとなる比率にほぼ比例する。モータ・トルク

の出力が上昇していく特性が、モータの粘性係数に相当する。言い換えれば、B R A K E \_ P W M 制御信号のデューティ比によってモータの粘性抵抗を動的に制御することが可能である。

#### 【0 0 9 6】

このように P W M 制御論理回路が付加論理回路へ供給する B R A K E \_ P W M 制御信号のデューティ比を P W M 制御することにより、モータ・コイルの非通電時におけるコイルのオープン状態と短絡状態の期間の比率を、所望の機械的特性に応じて調整することができる。

#### 【0 0 9 7】

したがって、モータ・コイルがオープン状態となるタイミングにおけるモータ・コイルに通電された電流（厳密には電荷）が抜けてしまうことによるトルクのロスやコギングによるトルクむらの問題と、モータ・コイルの非通電時におけるコイル・ショートによるブレーキの影響のためコンプライアンス（機械的受動性）がなくなるという問題を、ともに解決することができる。

#### 【0 0 9 8】

なお、上記の説明では D C モータを例にとって説明したが、3 相モータやその他のコイルへの供給電流を制御して所定の磁束分布を形成することにより回転トルクを発生させるタイプのモータにおいても同様に、非通電時のモータ・コイルを間歇的にオープン状態及び短絡状態に切り替えることによって、モータの所望の粘性抵抗を得ることができる。

#### 【0 0 9 9】

### C. 脚式移動ロボットへの適用

次いで、本実施形態に係るサーボ制御器を実装したアクチュエータを各関節部位に配置した 2 足歩行の脚式移動ロボットについて説明する。図 1 2 には、脚式移動ロボットの自由度構成例を模式的に示している。

#### 【0 1 0 0】

同図に示すロボットは、二脚二腕を有する人間型ロボットである。本ロボットは、機体に四肢が取り付けられ、首ロール軸、第 1 及び第 2 の首ピッチ軸、首ヨー軸という 4 自由度からなる頭部と、肩関節ピッチ軸、肩関節ロール軸、肩関節

ヨー軸、肘関節ピッチ軸という少なくとも 4 自由度からなる左右の腕部と、体幹ロール軸及び体幹ピッチ軸という 2 自由度からなる体幹部と、股関節ヨー軸、股関節ロール軸、股関節ピッチ軸、膝ピッチ軸、足首ピッチ軸、足首ロール軸という少なくとも 6 自由度からなる左右の脚部で構成されている。

#### 【0 1 0 1】

これらの各関節自由度は、上述したサーボ制御器を備えたアクチュエータによって実現される。各関節部位において使用されるアクチュエータのゲイン・位相補償特性の制御例について、以下に詳解する。

#### 【0 1 0 2】

##### (1) 首部分に適用されるアクチュエータの特性

首部分では、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。また、動作速度を保持しつつ、比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。また、胴体より下の部分の動作時に発生する振動外乱に対してロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きく設定する。

#### 【0 1 0 3】

##### (2) 肩・肘部分に適用されるアクチュエータの特性

歩行やダンスなどの連続動作を行なうときは、位置決め特性よりも機械的受動性が高くなるような特性をアクチュエータに与える。動作に受動性を持たせるため、関節の粘性抵抗を小さくする。また、動作に受動性を持たせるとともに、エネルギー消費量を減らすため、比例ゲインを低く設定する。また、動作速度を大きくするため、位相進み補償を行なう周波数帯域を高く、位相進み量を大きく設定する。動作によっては振り子のように往復運動を行なうだけのときもある。そのときは、関節の粘性抵抗と比例ゲインを最小にして機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにし、力学的なエネルギーを動作のために用い易くする。

#### 【0 1 0 4】

一方、物を押したり引っ張ったりするなどの力を使う動作を行なうときには、負荷トルク値により、位置決め精度優先の特性と、機械的受動性の特性を動的に入れ替えるように制御する。負荷トルク値に対してさらに力を発生させたいときは比例ゲインを高く、関節の粘性抵抗を大きくする。また、負荷トルク値に対し

て定負荷となるように倣わせる動作をする場合には、上位からの位置指令値による調整に加え、アクチュエータ内部トルク・センサで検知した負荷トルクに応じて比例ゲインを低く、関節の粘性抵抗を小さくして、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。

#### 【0 1 0 5】

##### （3）体幹部分に適用されるアクチュエータの特性

自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きくする。あるいは、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。あるいは、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

#### 【0 1 0 6】

##### （4）股関節部分に適用されるアクチュエータの特性

自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きくする。あるいは、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。あるいは、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

#### 【0 1 0 7】

##### （5）膝部分に適用されるアクチュエータの特性

遊脚時及び着床瞬間時においては、位置決め精度よりも機械的受動性が高くなるような特性に制御する。動作に受動性を持たせるため、関節の粘性抵抗を小さくする。また、動作に受動性を持たせるとともにエネルギー消費量を減らすため、比例ゲインを低く設定する。また、動作速度を大きくするため、位相進み補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する。

#### 【0 1 0 8】

一方、支持脚時においては、機械的受動性よりも位置決め精度が高くなるような特性に制御する。自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きくする。あるいは、位置決め精度を優先させるため、比例ゲインを高く設定する。あるいは、動作速度を保持しつつ比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように、位相進み量を少なく設定する。

**【0 1 0 9】****(6) 足首部分に適用されるアクチュエータの特性**

遊脚時及び着床瞬間時においては、位置決め精度よりも機械的受動性が高くなるような特性に制御する。足首部分着床による衝撃を緩和するため、関節粘性を小さく設定し、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。また、足首部分着床による衝撃を緩和するため、比例ゲインを低く設定し、機械的受動性（コンプライアンス）を得るようにする。また、動作速度を大きくとるため、位相補償を行なう周波数領域を高く、位相進み量を大きく設定する。

**【0 1 1 0】**

一方、支持脚時において、足首部分の発生トルクを大きくとり、且つ自分自身の動作による振動外乱にロバスト性を得るため、関節の粘性抵抗を大きくとる。また、足首部分の位置決め精度を向上させるため、比例ゲインを高く設定する。また、動作速度を保持しつつ、比例ゲインを上げた分の安定性を損なわないように位相進み量を少なく設定する。

**【0 1 1 1】****[追補]**

以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。

**【0 1 1 2】**

本発明の要旨は、必ずしも「ロボット」と称される製品には限定されない。すなわち、電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置であるならば、例えば玩具等のような他の産業分野に属する製品であっても、同様に本発明を適用することができる。

**【0 1 1 3】**

また、本明細書中では、モータ・コイルへのコイル電流のスイッチング制御にバイポーラ・トランジスタからなるスイッチング素子を用いて構成される回路例について説明したが、M O S - F E Tやその他の半導体装置を用いてこの種の制御回路を実装することができることは、当業者には自明である。

**【0 1 1 4】**

要するに、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、本明細書の記載内容を限定的に解釈するべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

**【0 1 1 5】****【発明の効果】**

以上詳記したように、本発明によれば、直列補償の比例ゲイン、位相補償要素から成り立つ位置制御系を構成する優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することができる。

**【0 1 1 6】**

また、本発明によれば、高ゲイン P D 制御で各軸リンクが制御されるロボットの関節アクチュエータとして適用される、優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することができる。

**【0 1 1 7】**

また、本発明によれば、コンプライアンス（機械的受動性）を増減させて安定且つ高効率な動作を実現することができる、優れたアクチュエータのサーボ制御器を提供することができる。

**【図面の簡単な説明】****【図 1】**

本発明の一実施形態に係るアクチュエータのサーボ制御器の構成を示した図である。

**【図 2】**

図 1 に示したモータと減速気の伝達関数表現モデル  $G(s)$  のゲイン及び位相の周波数特性を示したチャートである。

**【図 3】**

位相補償帯域を任意に選択する位相補償制御型のサーボ制御器の設計例を説明するための図である。

**【図 4】**

位相補償量を任意に選択する位相補償制御型のサーボ制御器の設計例を説明す

るための図である。

【図 5】

図 1 に示したサーボ制御器において、K で示した直列補償ゲインの代償を変更する制御器の設計例を説明するための図である。

【図 6】

図 3 に示したように位相補償量が一定で周波数帯域を任意に選ぶようにアクチュエータのサーボ制御器を実装したときの開ループ特性を示した図である。

【図 7】

図 6 に示したうち高域でのみ位相進み補償を施した例  $C(s) = 3$  においてさらに直列補償ゲインの制御を採り入れた様子を示した図である。

【図 8】

DC モータのコイル電流供給用の電流制御回路の等価回路の構成例を示した図である。

【図 9】

付加論理回路の具体的な回路構成を示した図である。

【図 10】

ハイ・レベルの  $BRAKE\_PWM$  制御信号が入力されたときの付加論理回路の各トランジスタ制御用信号の出力特性を、コイル電流波形特性及びトルク出力特性とともに示した図である。

【図 11】

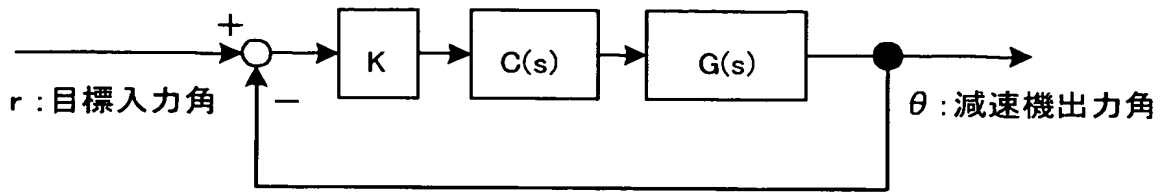
PWM 制御により所定のデューティ比を持つ  $BRAKE\_PWM$  制御信号が入力されたときの付加論理回路の各トランジスタ制御用信号の出力特性を、コイル電流波形特性及びトルク出力特性とともに示した図である。

【図 12】

脚式移動ロボットの自由度構成例を模式的に示した図である。

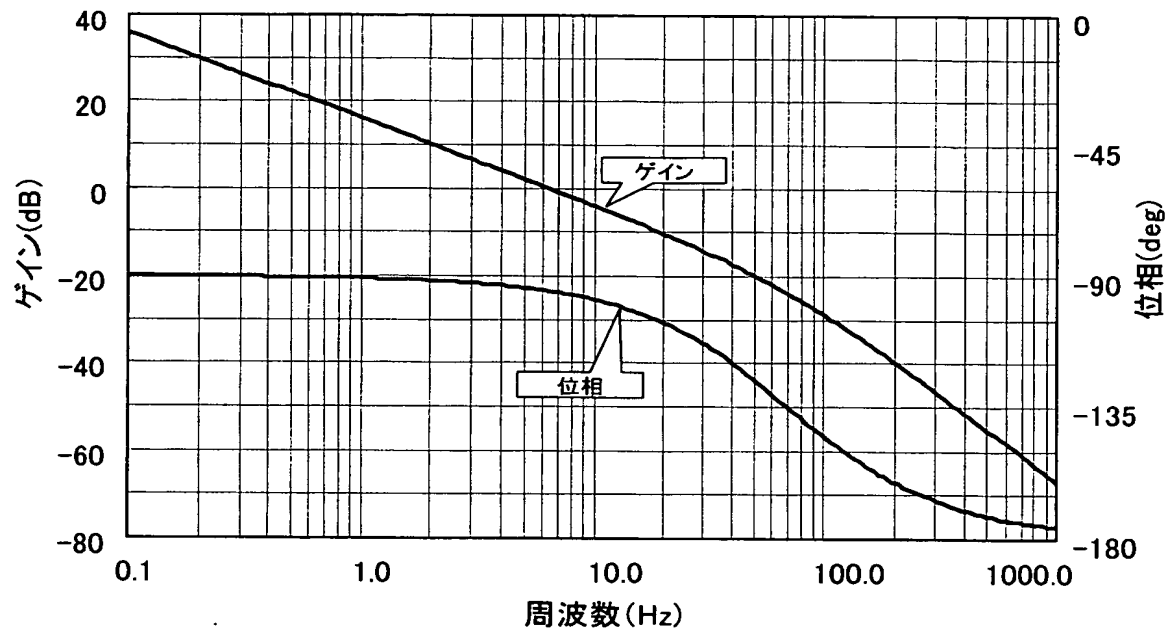
【書類名】 図面

【図 1】



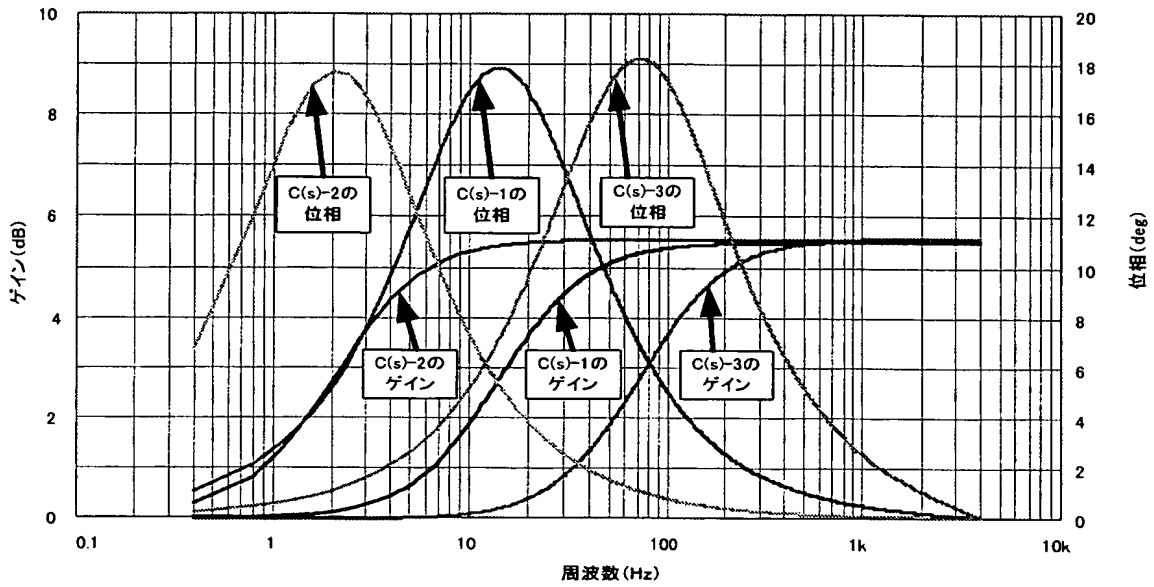
$K$ : 直列補償ゲイン(比例ゲイン)  
 $C(s)$ : 位相補償要素伝達関数  
 $G(s)$ : モータと減速機の伝達関数表現モデル

【図 2】

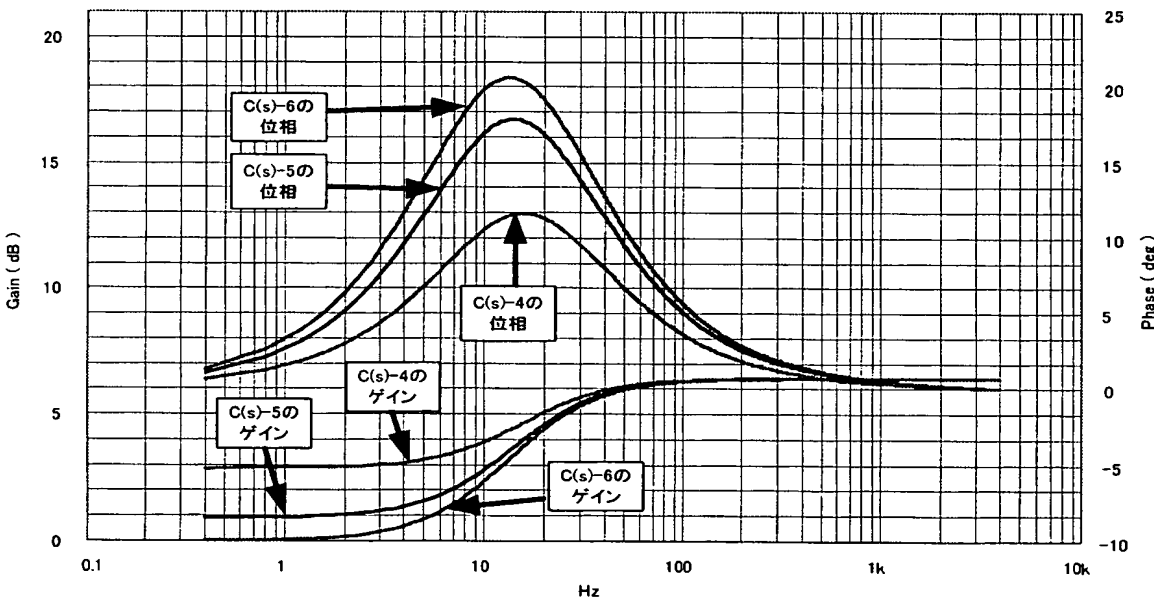




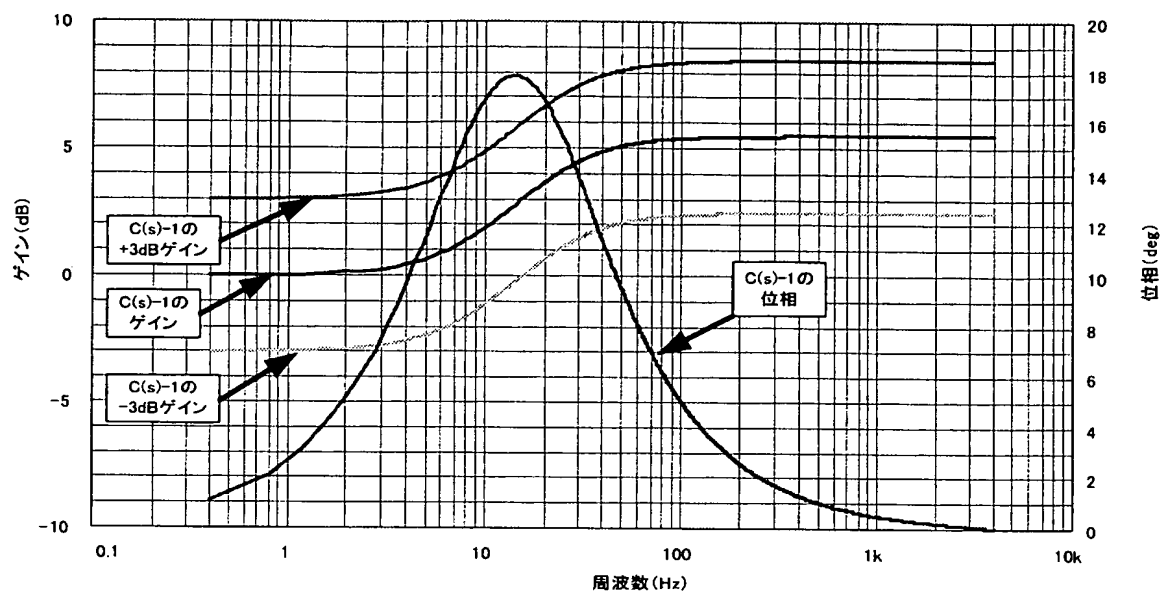
【図 3】



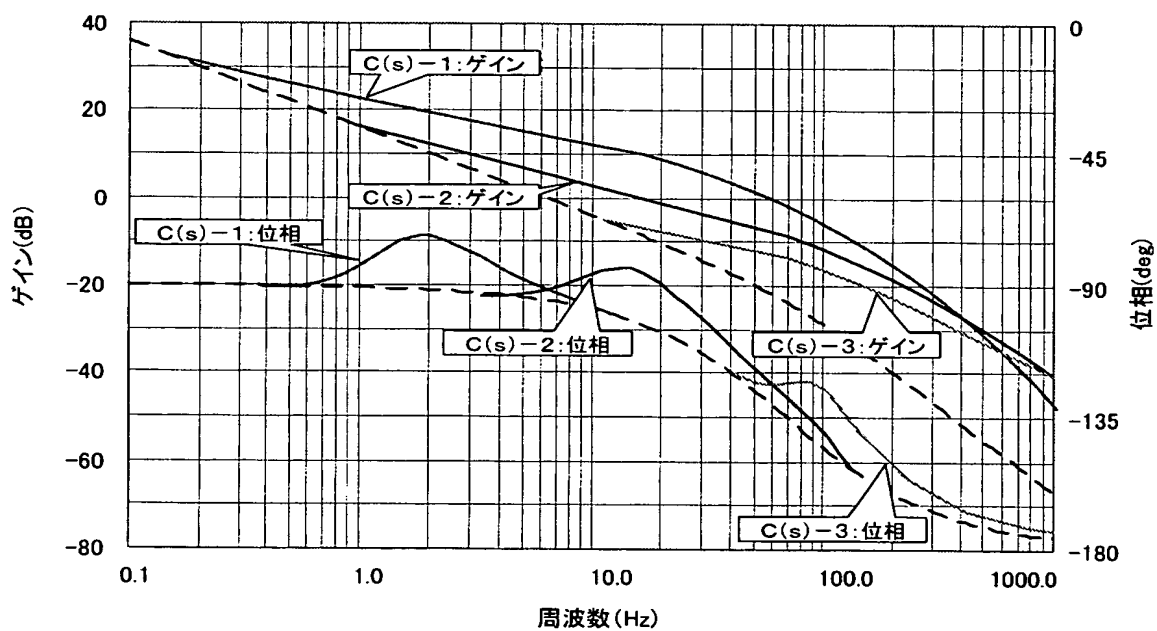
【図 4】



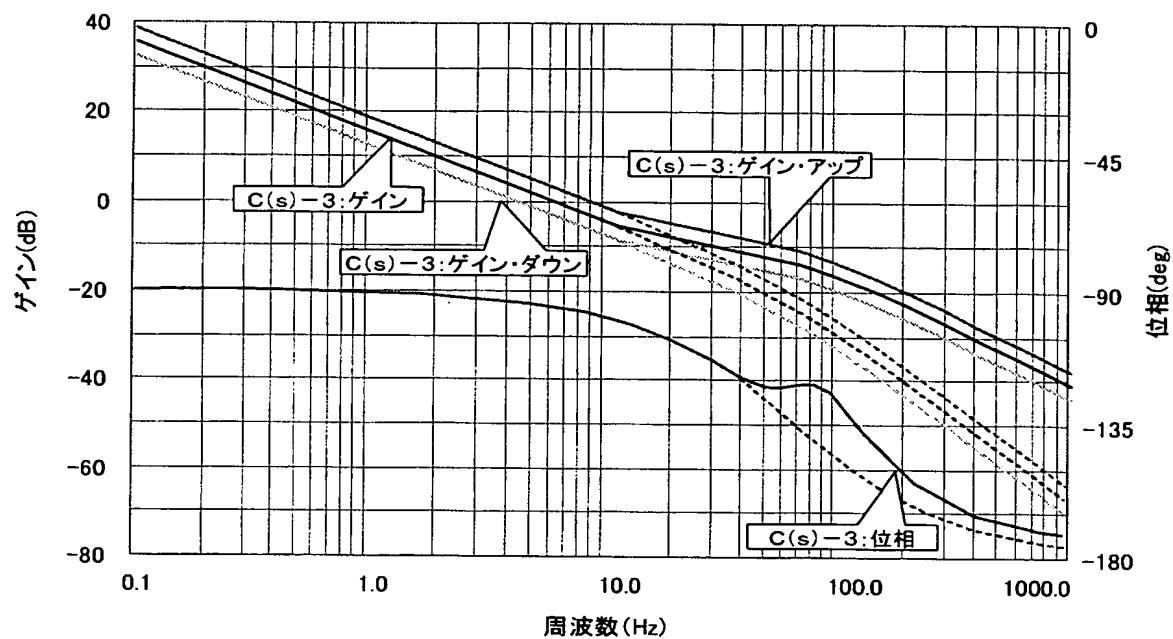
【図 5】



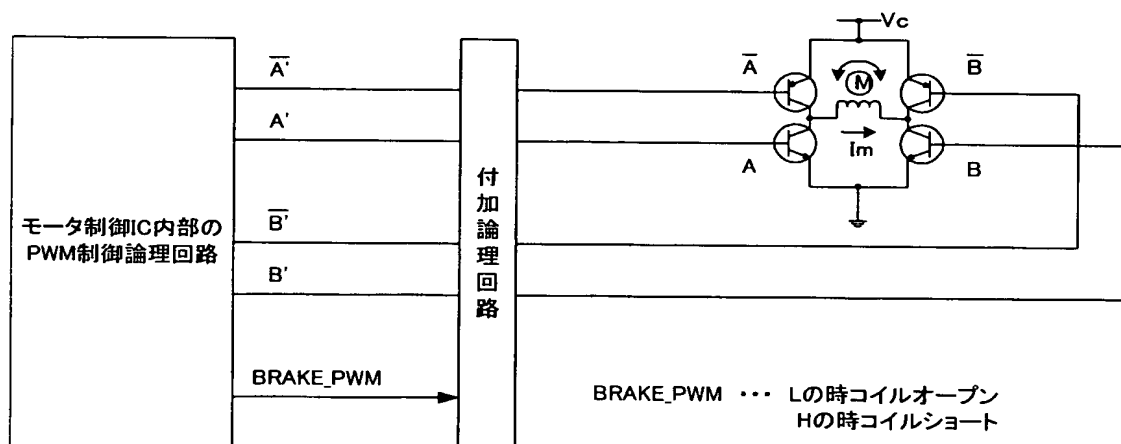
【図 6】



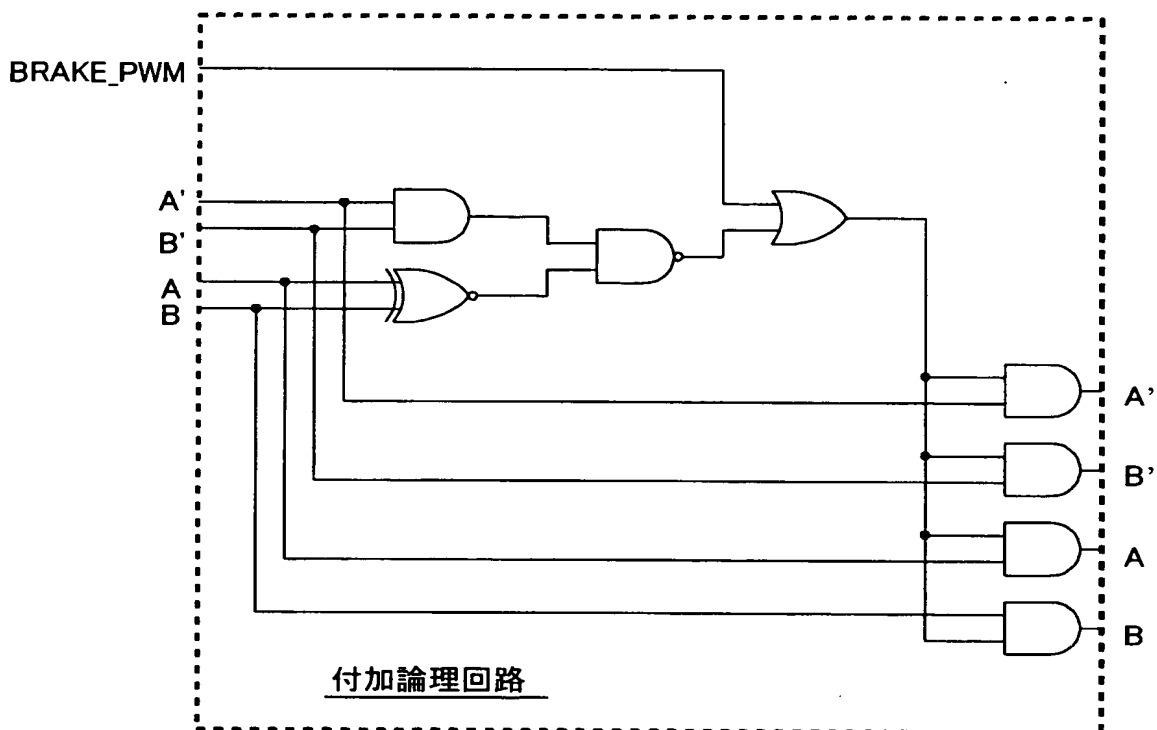
【図 7】



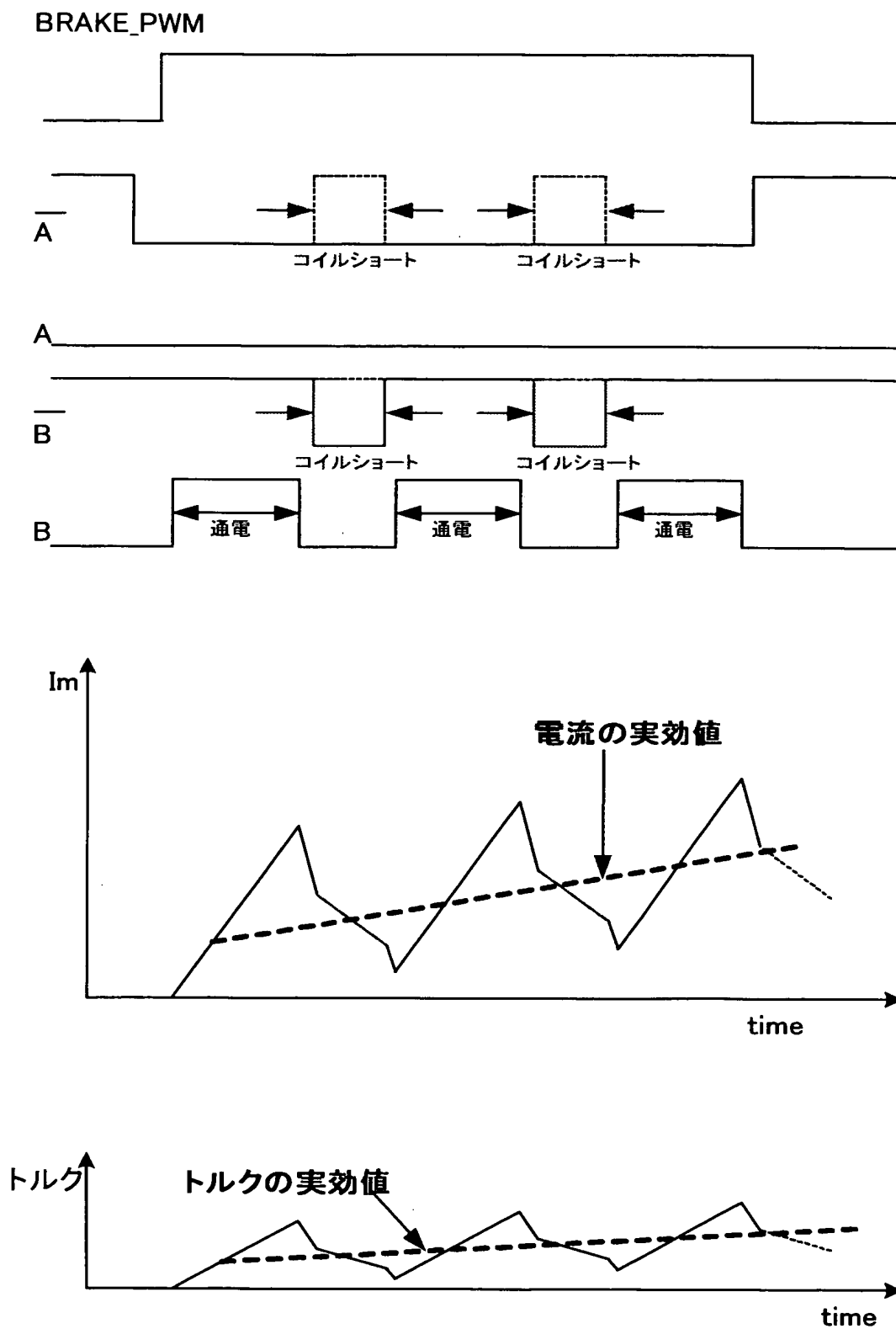
【図 8】



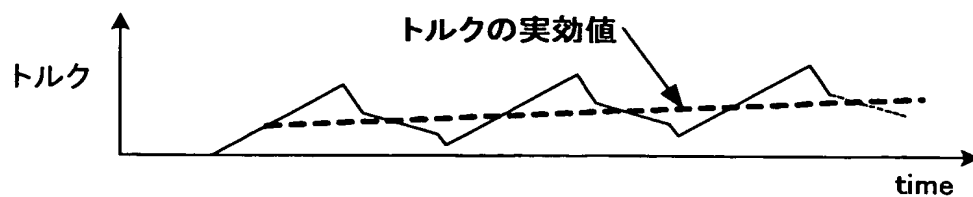
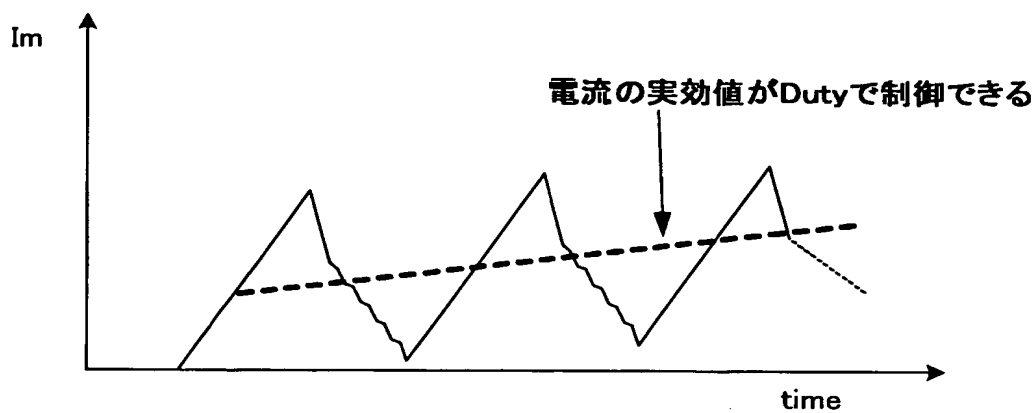
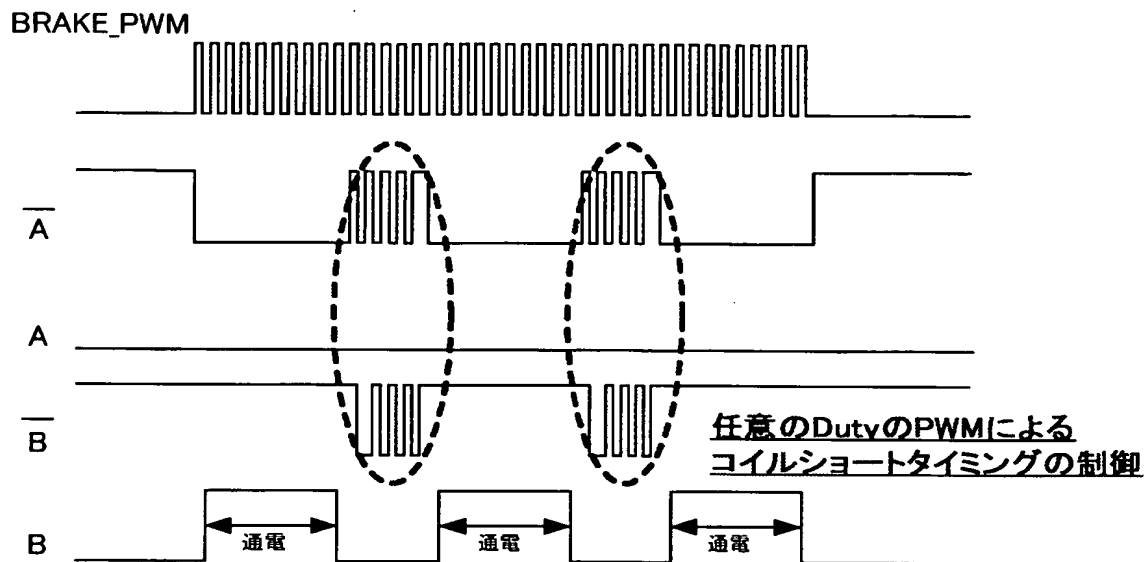
【図 9】



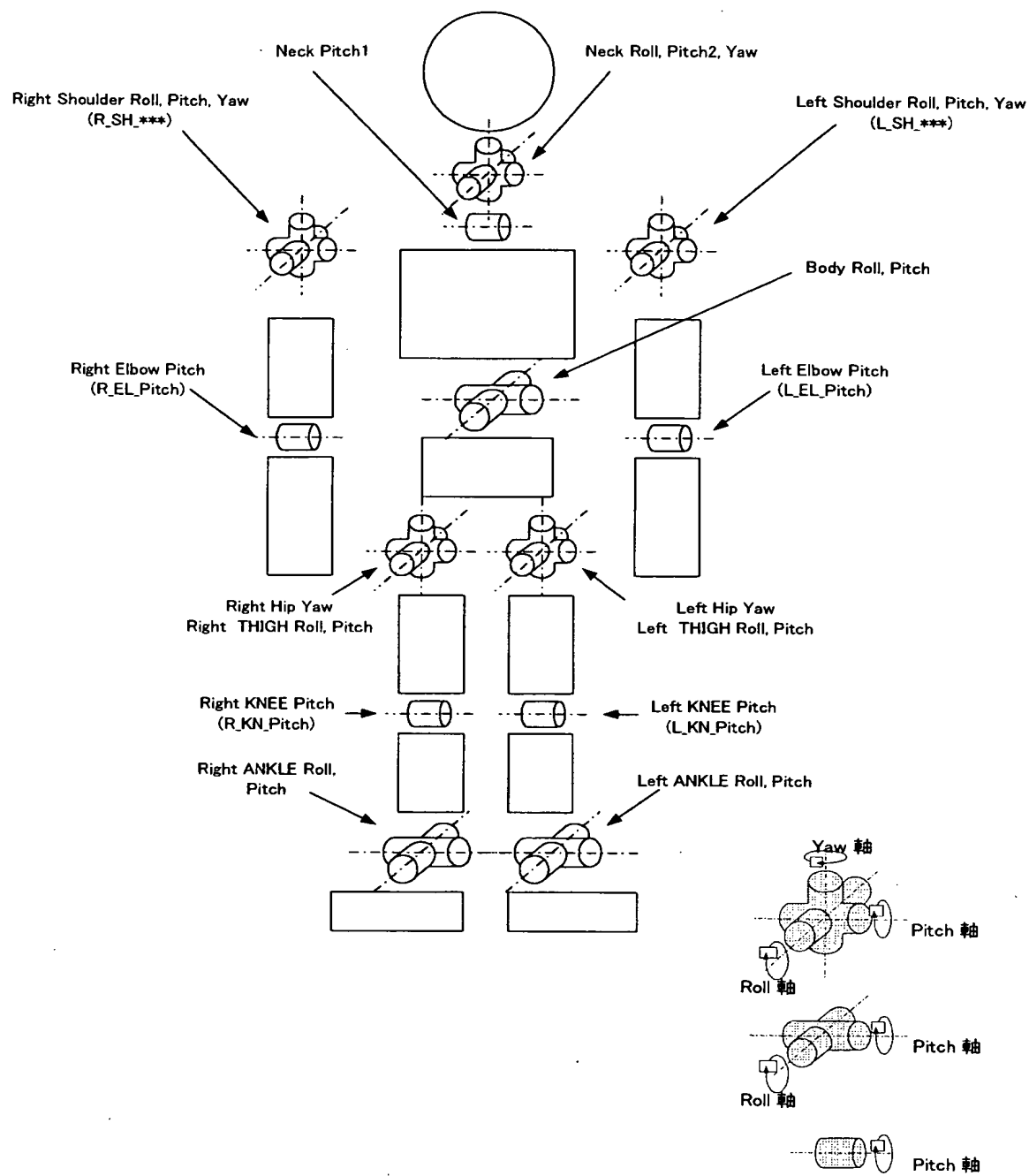
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 コンプライアンス（機械的受動性）を増減させて安定且つ高効率な動作を実現するアクチュエータのサーボ制御器を提供する。

【解決手段】 位相補償量を一定として、位相補償する周波数帯域を選択する。例えば、全体の帯域で位相補償した場合、全体的にゲインが高めとなるので、位相精度がよくなるが、エネルギーロスとなり易い。また、負荷が大きくなると不安定になる可能性がある。また、高い周波数帯域で位相補償した場合、高域でのみ位相進み補償をしていることになるので、ゆっくりした動作時にはあまり効果が見られないが、走る、飛ぶ、踊るといった速い動作には効果がある。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 2 - 3 5 4 2 6 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 2 1 8 5 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号

氏 名

ソニー株式会社